

УДК 62-83-52

Болдырев Г.Л., Заборщикова А.В., Мельников В.И.

Выбор электродвигателей мостовых кранов предприятий железнодорожного транспорта: Учебное пособие. — СПб: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 1995. — 54 с.

Библиогр.: 6 назв. Табл. 5. Ил. 8.

Изложена методика выполнения курсовой работы по выбору электродвигателей мостовых кранов: определению мощности электродвигателей, составлению схем управления механизмами мостовых кранов, работающих на предприятиях железнодорожного транспорта.

Предназначено для студентов электромеханического факультета.

Рецензент: главный инженер ТЧ-20 Ленинград-Финляндского отд. Октябрьской ж.д. А.В.Мельников.

## ВВЕДЕНИЕ

Электродвигатель (ЭД) является основным элементом электропривода производственных механизмов. Оптимальное соответствие его конструктивных и технических данных условиям работы механизма позволяет обеспечить минимальную стоимость электрооборудования, высокую надежность его работы и наименьшие потери электроэнергии в эксплуатации.

Выбор ЭД осуществляется обычно на стадии проектирования электрических приводов. Этот этап требует особого внимания, ибо от правильного выбора типа исполнения и мощности ЭД, кроме указанных факторов, непосредственно зависят управляемость электропривода, его регулировочные свойства и, в конечном счете, производительность механизма. Для решения этих вопросов требуются глубокие знания в области механики, электромеханики и теории автоматизированного электропривода.

Необходимость выбора ЭД часто возникает и в процессе эксплуатации. Инженерам-электромеханикам депо или других предприятий ж.д. транспорта приходится решать эту задачу при планово-предупредительных ремонтах, в случае выхода ЭД из строя, а также при замене ЭД, параметры которого не соответствуют требованиям привода в движение механизма.

Учебное пособие содержит основные положения по выбору ЭД для подъемно-транспортных механизмов, эксплуатируемых в депо или на других предприятиях ж.д. транспорта. Оно дает студентам возможность приобрести навыки самостоятельного решения инженерной задачи по выбору электрического оборудования подъемно-транспортных механизмов (на примере электрооборудования мостового крана).

В содержание курсовой работы входят:

1) определение мощности и выбор ЭД одного из механизмов мостового крана (механизма подъема груза, механизма передвижения тележки или механизма передвижения моста);

2) выбор устанавливаемой аппаратуры;

3) составление электрической схемы управления механизмом.

Объем и перечень вопросов, разрешаемых студентом в курсовой работе, приблизительно соответствует объему и перечню вопросов

реального технического проекта. Для экономии времени студентам дается подробная схема расчета и приводятся все необходимые материалы для определения мощности ЭД.

Расчеты выполняются в международной системе единиц СИ. Из единиц системы МКГС используется килограммсила, поскольку на практике вес и грузоподъемность задаются в этих единицах. Напомним, что  $1 \text{ кВт} = 102 \text{ кгс.м/с}$ .

## 1. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

### 1.1. Общие данные крана

Грузоподъемность	- $G$ , кг
Число циклов в час	- $Z$
Род тока	- переменный
Напряжение линейное	- $U$ , В

### 1.2. Механизм подъема груза

Масса крюка (захватного устройства)	- $G_{\text{кр}}$ , кг
Средняя скорость подъема	- $v_{\text{ср}}$ , м/с
Средняя высота подъема	- $H_{\text{ср}}$ , м
Диаметр барабана лебедки	- $D_{\text{б}}$ , м
К.п.д. лебедки при подъеме полного груза	- $\eta_1$

### 1.3. Механизм передвижения тележки

Масса тележки	- $G_{\text{т}}$ , кг
Скорость передвижения с грузом	- $v_{\text{т}}$ , м/с
Расчетная длина пути тележки	- $L_{\text{т}}$ , м
Диаметр катков тележки	- $d_{\text{к}}$ , м
Диаметр цапф катков тележки	- $d_{\text{ц}}$ , м
К.п.д. механизма передвижения тележки с грузом	- $\eta_2$

### 1.4. Механизм передвижения моста

Масса моста	- $G_{\text{м}}$ , кг
Скорость передвижения с грузом	- $v_{\text{м}}$ , м/с
Расчетный пробег моста	- $L_{\text{м}}$ , м
Диаметр катков моста	- $d_{\text{к}}$ , м
Диаметр цапф катков моста	- $d_{\text{ц}}$ , м
К.п.д. механизма передвижения моста с грузом	- $\eta_3$

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ И ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ МЕХАНИЗМОВ МОСТОВОГО КРАНА

### 2.1. Методы определения мощности двигателей

Точное определение необходимой мощности ЭД для любого механизма (в том числе и кранового) возможно лишь в случае, когда заранее известен график нагрузки, задаваемой этим механизмом. Применяя график нагрузки, используют метод последовательных приближений: на основании каких-либо соображений предварительно выбирается двигатель для механизма, а затем расчетным путем этот двигатель проверяется на нагрев и перегрузочную способность. В результате устанавливается степень перегрузки или недогрузки намеченного двигателя при работе по заданному графику нагрузки. На основании этого предварительного расчета выбирается другой двигатель и опять проверяется его соответствие механизму. Процедура повторяется до тех пор, пока не окажется, что намеченный двигатель полностью соответствует механизму.

Если график нагрузки двигателя не может быть построен, то выбор его мощности производится на основании данных эксплуатации аналогичных механизмов. При таком вынужденном подходе, естественно, не гарантируется полное соответствие выбранного ЭД механизму.

Необходимо, однако, отметить, что и при определении мощности двигателя по графику нагрузки могут иметь место погрешности, так как приходится задаваться большим количеством величин, точные значения которых неизвестно (например, значение коэффициента трения может колебаться для одного и того же механизма в достаточно широких пределах). В результате точность этого метода может оказаться не выше, чем при использовании практических методов расчета, эмпирических формул или данных справочников.

Тем не менее метод определения мощности ЭД по графику нагрузки является единственным научно обоснованным современным методом, пригодным при выборе ЭД для любого механизма.

Наиболее распространенной разновидностью этого метода применительно к выбору крановых ЭД является метод относительной продолжительности включения (ПВ), которым и рекомендуется пользоваться студентам при выполнении курсовой работы. Ниже приводится подробное его изложение.

## 2.2. Механизм подъема груза (вертикального перемещения груза)

### 2.2.1. Определение продолжительности цикла, с

$$T = \frac{3600}{Z} \quad (1)$$

Предлагаемый метод расчета используется при продолжительности цикла не более 600 секунд, т.е. при числе циклов не менее 6. В противном случае ЭД должен рассчитываться на продолжительный режим работы.

Расчитанная продолжительность цикла распространяется на все механизмы крана.

### 2.2.2. Предварительный выбор мощности двигателя.

Приближенная величина мощности, необходимой для подъема полного груза, кВт,

$$P' = \frac{(G + G_e) \cdot v_{cp}}{102 \eta_A} \quad (2)$$

### 2.2.3. Время работы двигателя подъема в течение одного цикла, с

$$t'_{\text{в.ч.}} = 4 \frac{H_{cp}}{v_{cp}} \quad (3)$$

(здесь учитываются 4 операции - подъем и опускание крюка и груза).

### 2.2.4. Относительная продолжительность включения двигателя, %

$$PB' = \frac{t'_{\text{в.ч.}}}{T} \cdot 100 \quad (4)$$

Ввиду того, что  $PB'$  обычно не соответствует стандартному значению  $PB_{\text{ст}}$  (согласно ГОСТ,  $PB_{\text{ст}} = 15; 25; 40; 60 \%$ ), производят приведение мощности  $P'$  к новому значению  $PB_{\text{ст}}$ , кВт

$$P'_{\text{ст}} = P' \sqrt{\frac{PB'}{PB_{\text{ст}}}} \quad (5)$$

где  $P'_{\text{ст}}$  - пересчитанная на  $PB_{\text{ст}}$  мощность  $P'$ ;  
 $PB_{\text{ст}}$  - ближайшее к  $PB'$  стандартное значение относительной продолжительности включения.

По величинам  $P'_{\text{ст}}$  и  $PB_{\text{ст}}$  по прил. I или справочнику [3] предварительно выбирается двигатель и выписываются все его данные. Как правило, мощности крановых двигателей, приведенные в каталоге, отличаются от вычисленной выше величины  $P'_{\text{ст}}$ . В этом случае для механизма подъема обычных мостовых кранов рекомендуется выбирать двигатель ближайшей меньшей мощности ( $P_H$ ).

### 2.2.5. Определение моментов на валу двигателя при статической нагрузке

Определяются моменты, требуемые от двигателя при движении груза с установленной скоростью. При подъеме полного груза двигатель должен развивать момент, Н·м,

$$M_1 = \frac{981(G + G_e) \Delta_\sigma}{2 \cdot i \cdot \eta_A} \quad (6)$$

Передачное число редуктора и полиспаста для выбранного двигателя может быть определено по формуле:

$$i = \frac{n_H \cdot R_\sigma}{955 \cdot v_{cp}} \quad (7)$$

где  $n_H$  - номинальная частота вращения двигателя, об/мин, при принятой средней скорости подъема груза, м/с;

$R_\sigma$  - радиус барабана лебедки, м.

Момент на валу двигателя при опускании полного груза, Н·м,

$$M_2 = \frac{981(G + G_e) \Delta_\sigma}{2 \cdot i} \eta'_A \quad (8)$$

Опускание полного груза производится, как правило, с электрическим торможением. Потери в механизме подъема при опускании груза уменьшают требуемый от двигателя тормозной момент, в связи с чем  $\eta'_A$  в формуле (8) находится в числителе, а не в знаменателе, как это было в формуле (6). К.п.д.  $\eta'_A$  может быть определен по [2]:

$$\eta'_A = 2 - \frac{1}{\eta_A} \quad (9)$$

При передачах, к.п.д. которых выше 0,8...0,85, можно принимать  $\eta'_A \approx \eta_A$ , при этом погрешности будут составлять не более 2%. В этом случае  $P_2 = P_1 \eta_A^2$ , а  $M_2 = M_1 \eta_A^2$ .

Момент на валу двигателя при подъеме пустого захватного приспособления, Н·м,

$$M_3 = \frac{981 G_0 \Delta \sigma}{2 \cdot i \cdot \xi_A''} \quad (10)$$

В этом случае к.п.д. лебедки  $\xi_A''$  много меньше  $\xi_A'$  и может быть определен по эмпирической формуле (согласно [2]):

$$\xi_A'' = \frac{1}{\frac{1}{\xi_A'} + \frac{0,075}{\alpha} - 0,075} \quad (11)$$

где  $\alpha = \frac{G_0}{G + G_0}$  - коэффициент относительной загрузки механизма.

Момент на валу  $M_4$ , развиваемый двигателем при опускании пустого захватного приспособления, может быть как отрицательным, так и положительным в зависимости от того, может ли этот момент преодолеть момент сопротивления от потерь в передачах или нет. Величину и знак момента, Н·м,

$$M_4 = \frac{981 \cdot G_0 \cdot \Delta \sigma}{2 \cdot i} \left( 2 - \frac{1}{\xi_A''} \right) \quad (12)$$

Если величина  $M_4$  окажется отрицательной, это значит, что для спуска пустого захватного приспособления двигатель должен развить положительный (двигательный) момент и, следовательно, имеет место так называемый силовой спуск. Если величина  $M_4$  положительна, то двигатель должен развивать отрицательный (тормозной) момент.

#### 2.2.6. Определение мощностей, развиваемых двигателем при статической нагрузке

По номинальным данным предварительно выбранного двигателя и его синхронной скорости строится характеристика  $n = f(M)$ . Для этой цели по четырем заданным в прил. I мощностям  $P_{15}$ ,  $P_{25}$ ,  $P_{40}$ ,  $P_{60}$  (для ПВ 15, 25, 40 и 60 %) и по соответствующим им частотам вращения  $n_{15}$ ,  $n_{25}$ ,  $n_{40}$ ,  $n_{60}$  определяют величины моментов  $M_{15}$ ,  $M_{25}$ ,  $M_{40}$ ,  $M_{60}$  по формуле  $M = 9550 \frac{P}{n}$  ( $P$  - кВт;  $n$  - об/мин;  $M$  - Н·м). Затем по этим точкам и синхронной частоте вращения  $n_0 = \frac{60 f_1}{P}$  при  $M = 0$  в первом квадранте строят зависимость  $n = f(M)$ , продолжая ее во втором квадранте до значения  $0,8 M_{max}$ .

В

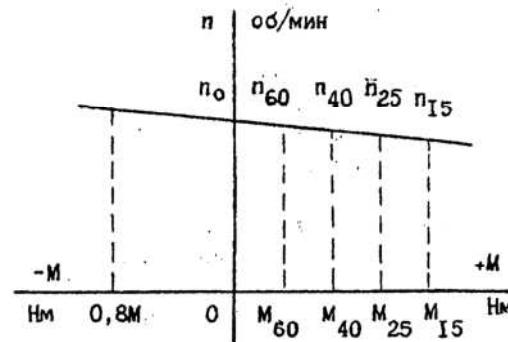


Рис. I

По характеристике  $n = f(M)$  для  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  и  $M_4$  (рис. I) находят значения частоты вращения  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$ ,  $n_4$ , а далее определяют установившиеся значения скоростей  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_3$  и  $v_4$ , м/с,

$$v_i = \frac{n_i R_0}{9550 \cdot i} \quad (13)$$

и мощностей  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $P_4$ , кВт,

$$P_i = \frac{M_i \cdot n_i}{9550} \quad (14)$$

В расчете принят следующий порядок индексов при буквенных обозначениях:

- $i = 1$  - подъем груза;  $i = 3$  - подъем крюка;
- $i = 2$  - опускание полного груза;  $i = 4$  - опускание крюка.

#### 2.2.7. Определение динамической нагрузки на двигатель

При каждом пуске двигателя в период разгона ему приходится преодолевать не только моменты статического сопротивления, но и момент динамического сопротивления, обусловленный инерцией ускоряемой механической системы. Последний, согласно [2], Н·м, определяют:

$$M_{g.m} = 1,028 \frac{1,15 J_0 n_i}{t_n} + 9,55 \frac{G_i v_i^2}{n_i t_n \xi_i} \quad (15)$$

- где  $t_n$  - время пуска, с;
- $G_i$  - суммарный вес поднимаемого груза, кг;
- $n_i$  - частота вращения ротора двигателя, об/мин;
- $v_i$  - скорость перемещения груза при соответствующей операции, м/с;
- $\xi_i$  - к.п.д. механизма подъема при соответствующей операции. При спуске и подъеме пустого крюка  $\xi_i = \xi_A''$ , а при опускании груза  $\xi_i = \xi_A'$  помещается не в знаменателе формулы, а в числителе.

В формуле (15)  $J_0$  представляет собой сумму моментов инерции ротора предварительно выбранного двигателя  $J_d$  и муфты  $J_m$ , соединяющей двигатель с редуктором и обычно служащей одновременно тормозным шкивом для механического тормоза (прил. I). Моменты инерции всех остальных вращающихся частей лебедки, будучи приведенными к валу двигателя, составляют не более 10-15 % от величины  $J_0$ . Эти моменты инерции в формуле (15) учитываются коэффициентом 1,15.

В зависимости от того, какой способ пуска принят в крановой схеме, учет динамической нагрузки может быть произведен двумя способами:

1) если управление двигателем осуществляется при помощи кулачкового или контактного контроллера, при котором пуск в ход происходит в функции времени, то, задавшись временем пуска, определяют по формуле (15) значение  $M_{g.m}$ ;

2) если управление двигателем происходит в функции тока или напряжения, то, задавшись значением пускового момента, определяют динамический момент, а по его значению - время пуска.

Рассмотрим первый случай, когда время пуска задано.

Величина времени пуска для механизмов подъема ориентировочно изменяется в пределах 2...4 секунд, причем для всех четырех операций оно принимается одинаковым. Тогда для всех четырех операций по формуле (15) определяют величину  $M_{g.m}$ , подставляя в эту формулу соответствующие значения частоты вращения, веса, скорости движения крюка и к.п.д. передачи.

Например, при подъеме груза и определении  $M_{g.m1}$  в формулу (15) подставляются величины  $n_1$ ;  $G_1 = G + G_0$ ;  $v_1$  и  $\eta_1$ . При подъеме пустого захватного устройства и определении  $M_{g.m3}$  - подставляются величины  $n_3$ ;  $G_3 = G_0$ ;  $v_3$  и  $\eta_3$ .

Определив величины динамических моментов, находят пусковые моменты, которые требуются от двигателя в период разгона:

- при подъеме груза

$$M_{n1} = M_1 + M_{g.m1}; \quad (16)$$

- для опускания груза при торможении противовключением

$$M_{n2} = M_2 - M_{g.m2}; \quad (17)$$

- для опускания груза при торможении с отдачей энергии в сеть (обычный способ опускания тяжелых грузов)

$$M_{n2} = M_{g.m2} - M_2; \quad (18)$$

- при подъеме крюка

$$M_{n3} = M_3 + M_{g.m3}; \quad (19)$$

- при спуске крюка

$$M_{n4} = M_{g.m4} \pm M_4; \quad (20)$$

знаки плюс или минус зависят от того, имеет место силовой или тормозной спуск.

Из вычисленных таким образом величин наибольшим будет момент  $M_{n1}$ . Необходимо убедиться в том, что эта величина не превосходит  $0,8 M_{max}$ , указанного для данного двигателя в каталоге (прил. I). Если окажется, что  $M_{n1} > 0,8 M_{max}$ , то следует задаться большим временем пуска и вновь определить динамические, а затем пусковые параметры.

Во втором случае задаются одинаковым для всех четырех операций пусковым моментом (подъем и опускание полного груза, подъем и спуск пустого захватного приспособления). Этот момент  $M_n$  не должен превышать величину  $0,8 M_{max}$ , указанного в каталоге для предварительно выбранного двигателя. Не рекомендуется стремиться к сокращению времени пуска, добиваясь строгого выполнения равенства  $M_n = 0,8 M_{max}$ . Обычно бывает достаточно иметь  $M_n = (1,5...3,0) M_H$ . Время пуска при подъеме полного груза не следует брать менее 1,5...2,0 с. Если задаться слишком большим пусковым моментом, то при пуске в механической части крана могут возникнуть весьма большие динамические усилия, а их следует избегать.

Динамические моменты в этом случае определяются по формулам:

- при подъеме груза

$$M_{g.m1} = M_n - M_1; \quad (21)$$

- при опускании груза с торможением с отдачей энергии в сеть

$$M_{g.m2} = M_2 + M_n; \quad (22)$$

- при опускании груза с торможением противовключением

$$M_{g.m2} = M_2 - M_n; \quad (23)$$

- при подъеме крюка

$$M_{g.m3} = M_n - M_3; \quad (24)$$



- при спуске крюка

$$M_{g.m4} = M_4 \pm M_n \quad (25)$$

Знак перед  $M_n$  надо брать таким, каким он получился в результате подсчета (12).

По вычисленным значениям  $M_{g.m1}, M_{g.m2}, M_{g.m3}, M_{g.m4}$  из формулы (15) определяют время пуска  $t_{n1}, t_{n2}, t_{n3}$  и  $t_{n4}$ , с (эти величины имеют разные значения).

$$t_{n1} = 1,028 \frac{1,15 \cdot \gamma_0 n_1}{M_{g.m1}} + 9,55 \frac{G_2 \cdot v_1^2}{n_1 M_{g.m1} \eta_n}; \quad (26)$$

$$t_{n2} = 1,028 \frac{1,15 \cdot \gamma_0 n_2}{M_{g.m2}} + 9,55 \frac{G_2 \cdot v_2^2 \eta_1'}{n_2 M_{g.m2} \eta_n}; \quad (27)$$

$$t_{n3} = 1,028 \frac{1,15 \cdot \gamma_0 n_3}{M_{g.m3}} + 9,55 \frac{G_2 \cdot v_3^2}{n_3 M_{g.m3} \eta_n''}; \quad (28)$$

$$t_{n4} = 1,028 \frac{1,15 \cdot \gamma_0 n_4}{M_{g.m4}} + 9,55 \frac{G_2 \cdot v_4^2 \eta_1''}{n_4 M_{g.m4} \eta_n}; \quad (29)$$

## 2.2.8. Определение времени работы с установившейся скоростью

Время работы с установившейся скоростью для каждой операции, с, может быть определено как

$$t_i = \frac{H_{cp}}{v_i} - \frac{t_{ni} + t_r}{2}, \quad (30)$$

где  $H_{cp}$  - средняя высота подъема груза, м;  $H_{cp} = (0,5 \dots 0,8) H_{max}$ ;  
 $v_i$  - скорость передвижения груза (по формуле (13) при различных операциях, м/с;

$t_{ni}$  - заданное время пуска или вычисленное по формулам (26) - (29), с;

$t_r$  - время замедления груза от момента отключения двигателя до момента его остановки под действием механического тормоза, с.

Для всех операций  $t_r$  принимается в пределах 1...3 с.

По выражению (30) определяют  $t_1, t_2, t_3$  и  $t_4$  - время работы двигателя с установившейся скоростью для каждой из четырех операций (при подстановке соответствующих значений  $\eta_i$  и  $t_{ni}$ ).

## 2.2.9. Определение фактической относительной продолжительности включения двигателя

Величина фактической относительной продолжительности включения, при которой работает двигатель, будет несколько отличаться от значения ПВ, которое было получено в начале данного расчета по формуле (4), с.

$$ПВ = \frac{t_{n1} + t_{n2} + t_{n3} + t_{n4} + t_1 + t_2 + t_3 + t_4}{T}, \quad (31)$$

где  $T$  - величина продолжительности цикла, определенная по формуле (1).

## 2.2.10. Определение пусковых мощностей

По найденным выше величинам пусковых моментов  $M_{n1}, M_{n2}, M_{n3}, M_{n4}$  и частотам вращения  $n_1, n_2, n_3, n_4$  определяют пусковые мощности, кВт, по формуле

$$P_{ni} = \frac{M_{ni} n_i}{9550} \quad (32)$$

Когда  $M_{ni}$  определяются по формулам (16) - (20), то имеем первый случай (время пуска задано); когда  $M_n = const$ , имеем второй случай (пусковой момент задан).

## 2.2.11. Построение графика нагрузки

Из допущения о постоянном динамическом моменте при разгоне двигателя следует, что в период пуска мощность остается постоянной. По значениям  $P_1$  и  $t_{n1}$ ;  $P_1$  и  $t_1$ ;  $P_2$  и  $t_{n2}$ ;  $P_2$  и  $t_2$ ;  $P_3$  и  $t_{n3}$ ;  $P_3$  и  $t_3$ ;  $P_4$  и  $t_{n4}$ ;  $P_4$  и  $t_4$  строят график нагрузки двигателя  $P = f(t)$ . Примерный вид такого графика представлен на рис. 2.

## 2.2.12. Определение повторно-кратковременной мощности

Повторно-кратковременная мощность двигателя, кВт, определя-

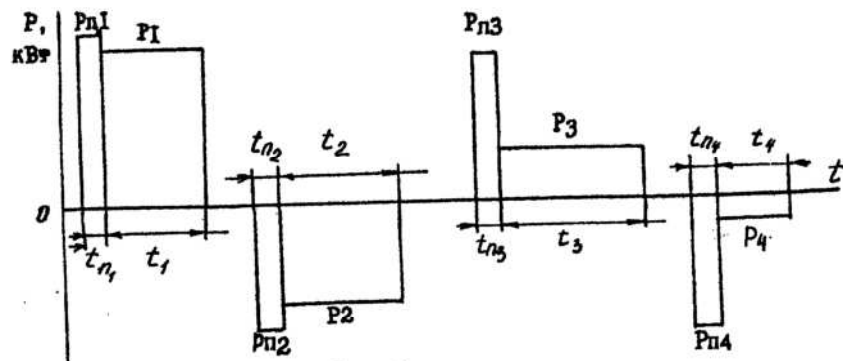


Рис. 2

ется по формуле

$$P_{пк} = \sqrt{\frac{P_{n1}^2 t_1 + P_{n2}^2 t_2 + P_{n3}^2 t_3 + P_{n4}^2 t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}} \quad (33)$$

### 2.2.13. Приведение повторно-кратковременной мощности к стандартному значению

Чтобы установить соответствие намеченного двигателя рассматриваемому механизму подъема, необходимо пересчитать полученное значение мощности  $P_{пк}$  на стандартное значение  $P_{ст}$ , кВт:

$$P_{пкст} = P_{пк} \sqrt{\frac{PВ}{PВ_{ст}}} \quad (34)$$

здесь  $PВ$  принимается по уравнению (31);

$PВ_{ст}$  — стандартное значение, по которому выбирался двигатель (см. п. 2.2.4).

### 2.2.14. Проверка предварительно выбранного двигателя

Чтобы предварительно выбранный двигатель наиболее полно соответствовал данному механизму подъема, необходимо выполнение неравенства

$$P'_н < P_{пкст} \leq P_н \quad (35)$$

где  $P'_н$  — номинальная мощность ближайшего двигателя меньшей мощности при той же величине  $PВ_{ст}$ ;

$P_н$  — номинальная мощность предварительно намеченного двигателя при  $PВ_{ст}$  (п. 2.2.4).

Если неравенство (35) не соблюдается, то необходимо вновь выбрать двигатель и повторить расчет, начиная с п. 2.2.4. Однако следует отметить: если  $P_{пкст}$  больше  $P_н$  на 5...10 %, то с разрешения руководителя проектирования пересчет можно не производить. Объясняется это тем, что в условиях эксплуатации депоовских кранов двигатели недоиспользуются по нагреву, поскольку в депо средняя годовая температура окружающего воздуха значительно ниже той, которая принята в ГОСТ (+40 °C). Кроме того, настоящий расчет предусматривает непрерывную круглосуточную работу двигателя (конечно, по повторно-кратковременному графику), тогда как фактически депоовские краны, как правило, в три смены не работают, что опять-таки уменьшает износ их изоляции и, следовательно, позволяет несколько перегружать их при нормальной работе.

Необходимо подчеркнуть, что в любом случае величина пускового момента двигателя при подъеме полного груза не должна превышать 0,8  $M_{max}$  предварительно намеченного двигателя.

### 2.3. Механизм горизонтального перемещения груза (тележка)

При расчете этого механизма продолжительность цикла и число циклов в час такие же, как и для механизма подъема.

#### 2.3.1. Определение сопротивления движению

Сопротивление движению при полном грузе, кг,

$$W_r = K_r \frac{G_r}{R_x} (\mu z_u + f) \quad (36)$$

где  $K_r$  — коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления движению в результате перекоса (для подшипников качения),

$$K_r = 2,5;$$

$G = G_0 + G_r$  — вес тележки с грузом и крюком, кг;

$R_x$  — радиус катка тележки, см,  $R_x = \frac{A}{2}$ ;

$\mu$  — коэффициент трения цапф,  $\mu = 0,08 \dots 0,15$ ;

$z_u$  — радиус цапф катков тележки, см,  $z_u = d_r/2$ ;

$f$  — коэффициент трения качения, см,  $f \approx 0,05$ .

Сопротивление движению без груза, кгс

$$W_2 = K_1 \frac{G_2}{R_K} (\mu \cdot z_u + f) \quad (37)$$

где  $G_2 = G_0 + G_T$ , кг.

### 2.3.2. Предварительный выбор двигателя

В первом приближении определяется величина мощности, которая необходима для перемещения тележки с полным грузом, кВт,

$$P' = \frac{W_1 \cdot v_{T1}}{102 \cdot z_1} \quad (38)$$

Затем ориентировочно определяется величина ПВ'; для этого вычисляют время работы за один цикл, с,

$$t'_{pu} = \frac{4 L_T}{v_1 + v_2} \quad (39)$$

принимая скорость, м/с,

$$v_1 = v_2 = v_{T1}$$

тогда

$$ПВ' = \frac{t'_{pu}}{T} \quad (40)$$

Здесь T — определенная для механизма подъема продолжительность цикла, с.

Мощность P' приводится к ближайшему стандартному значению ПВ<sub>ст</sub>, кВт,

$$P_{cm} = P' \sqrt{\frac{ПВ'}{ПВ_{cm}}} \quad (41)$$

По величинам P<sub>ст</sub> и ПВ<sub>ст</sub> согласно прил. I, предварительно выбирают двигатель ближайшей к P<sub>ст</sub> мощности. При этом записывают все паспортные данные двигателя (мощности и частоты вращения при всех ПВ, кратности максимального момента, момент инерции, вес двигателя).

### 2.3.3. Определение передаточного числа

Передаточное число между двигателем и катками тележки определяется при скорости  $v_{T1} = v_1$ , которая соответствует номинальной частоте вращения двигателя  $n_n$ ; тогда

$$i = \frac{n_n \cdot R_K}{955 \cdot v_1} \quad (42)$$

### 2.3.4. Определение вращающих моментов на валу двигателя при статической нагрузке

Вращающий момент при полном грузе, Н·м,

$$M_1 = \frac{981 \cdot W_1 \cdot R_K}{i \cdot z_1} \quad (43)$$

где  $z_1 = z_T$ .

Вращающий момент при движении тележки без груза, Н·м,

$$M_2 = \frac{981 \cdot W_2 \cdot R_K}{i \cdot z_2} \quad (44)$$

где

$$z_2 = \frac{1}{\frac{1}{z_1} + \frac{0,075}{\alpha} - 0,075}; \quad \alpha = \frac{G_0 + G_T}{G + G_0 + G_T}$$

### 2.3.5. Определение мощностей, развиваемых двигателем при статической нагрузке

Записав все данные предварительно выбранного двигателя (см. прил. I), определяют: вращающие моменты, Н·м, при различных значениях ПВ  $M_{15} = 9550 \frac{P_{15}}{n_{15}}; M_{25} = 9550 \frac{P_{25}}{n_{25}}; M_{40} = 9550 \frac{P_{40}}{n_{40}}; M_{60} = 9550 \frac{P_{60}}{n_{60}}$ ; перегрузочную способность  $\frac{M_{max}}{M_{n25}}$ ; синхронную частоту вращения двигателя  $n_0$ .

По точкам  $M_{15}, n_{15}; M_{25}, n_{25}; M_{40}, n_{40}; M_{60}, n_{60}$  и синхронной частоте вращения  $n_0$  строят механическую характеристику  $n = f(M)$ , представленную на рис. 3.  $n_0 = 60 \frac{1}{с}$

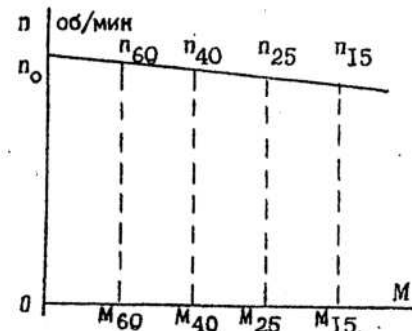


Рис. 3

По кривой  $n = f(M)$  для известных значений  $M_1$  и  $M_2$  определяют соответствующие им частоты вращения  $n_1$  и  $n_2$ . При этом установившаяся скорость тележки, м/с:

$$v_1 = \frac{n_1 \cdot R_K}{955 \cdot i} \quad (45)$$

$$v_2 = \frac{n_2 \cdot R_K}{955 \cdot i} \quad (46)$$



Мощность, развиваемая двигателем, кВт:

- при движении тележки с грузом

$$P_1 = \frac{M_1 \cdot n_1}{9550}; \quad (47)$$

- при движении тележки без груза

$$P_2 = \frac{M_2 \cdot n_2}{9550}. \quad (48)$$

### 2.3.6. Определение динамической нагрузки на двигатель тележки

Учет динамической нагрузки на двигатель тележки, как и для механизма подъема, зависит от принятого способа пуска механизма передвижения тележки.

1. Если управление двигателем производится вручную (при помощи барабанного или кулачкового контроллера) или автоматически (при помощи контакторного контроллера) в функции времени, то задаются временем пуска  $t_n$ ; необходимые динамические моменты, Н·м, при разгоне тележки с грузом и без груза определяются соответственно по формулам, аналогичным (15):

$$M_{g.m.1} = 1,028 \frac{115 J'_0 n_1}{t_n} + 955 \frac{G_1 v_1^2}{n_1 t_n b_1}, \quad (49)$$

$$M_{g.m.2} = 1,028 \frac{115 J'_0 n_2}{t_n} + 955 \frac{G_2 v_2^2}{n_2 t_n b_2}, \quad (50)$$

здесь  $J'_0 = J'_g + J'_m$  - суммарный момент инерции ротора и муфты, кг·м<sup>2</sup>;

$G_1 = G_0 + G_T$  - суммарный вес при движении с грузом, кг.;

$G_2 = G_0 + G_T$  - суммарный вес при движении без груза, кг.

Время пуска для тележки  $t_n$  может быть принято в интервале (1,5...4,0) с.

Далее проверяется условие

$$M_{g.m.1} + M_1 \leq 0,8 M_{max}, \quad (51)$$

где  $M_{max}$  - максимальный момент предварительно выбранного двигателя.

Если  $M_{g.m.1} + M_1$  превосходит  $0,8 M_{max}$ , задаются большей величиной  $t_n$ ; вновь определяют  $M_{g.m.1}$ , проверяя при этом выполнение условия (51).

В том случае, если время, необходимое для пуска, превышает 10 с, приходится по условиям пуска выбирать двигатель большей мощности и повторять расчет. Это связано с тем, что для деповских кранов горизонтальное перемещение тележки является рабочим движением и увеличение времени пуска уменьшает производительность крана.

2. Если управление двигателем тележки осуществляется командо-контроллером и пуск в ход автоматизирован в функции тока, то задаются величиной пускового момента, которая не должна превышать  $0,8 M_{max}$  для предварительно выбранного двигателя.

Далее определяются максимальные величины динамического момента двигателя, Н·м, при разгоне тележки с грузом и без груза:

$$M_{g.m.1} = M_n - M_1, \quad (52)$$

$$M_{g.m.2} = M_n - M_2; \quad (53)$$

для различных режимов работы механизма из уравнений (49), (50)

определяется время пуска двигателя  $t_{n1}$ ,  $t_{n2}$ .

Напомним, что при выборе величины пускового момента тележки не следует задаваться слишком большим его значением и тем самым сокращать время пуска (как это отмечалось при анализе механизма подъема и опускания груза). Рекомендуется, чтобы при работе с грузом это время для тележки было не менее 1,5...2 с, в противном случае (при больших динамических моментах) механизм крана испытывает значительные динамические усилия и большие ускорения; последние приводят к раскачиванию груза. В результате время, требуемое на перемещение груза, может не уменьшиться, а возрасти. Поэтому следует стремиться, чтобы пусковой момент двигателя тележки не превышал 1,5...2,0 величины номинального момента предварительно намеченного двигателя.

### 2.3.7. Определение времени работы с установившейся скоростью

Время работы с установившейся скоростью при передвижении тележки с грузом  $t_1$  и без груза  $t_2$  определяется так же, как и для механизма подъема (см. уравнение (30)), с,

$$t_i = \frac{L_T}{v_i} - \frac{t_{ni} + t_T}{2}. \quad (54)$$

Что же касается времени торможения  $t_r$ , то для тележки оно составляет примерно 1...2 с.

### 2.3.8. Определение фактической относительной продолжительности включения

Фактическое значение ПВ определяется по формуле

$$ПВ = \frac{t_{n1} + t_{n2} + t_1 + t_2}{T}, \quad (55)$$

где  $T$  - продолжительность цикла (определяется по формуле (I)).

### 2.3.9. Определение пусковых мощностей

По найденным выше значениям пусковых моментов определяют величины мощностей, кВт, развиваемых двигателем при пуске,

$$P_{n1} = \frac{M_{n1} \cdot n_1}{9550}, \quad (56)$$

$$P_{n2} = \frac{M_{n2} \cdot n_2}{9550}. \quad (57)$$

### 2.3.10. Построение графика нагрузки двигателя механизма передвижения тележки

По данным  $P_{n1}, t_{n1}; P_1, t_1; P_{n2}, t_{n2}; P_2, t_2$  строят график нагрузки  $P = f(t)$ , который представлен на рис. 4.

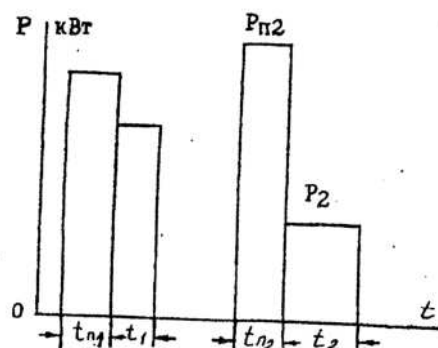


Рис. 4

### 2.3.11. Определение повторно-кратковременной мощности

Мощность повторно-кратковременного режима, кВт, определяется по формуле:

$$P_{пк} = \sqrt{\frac{P_{n1}^2 t_{n1} + P_1^2 t_1 + P_{n2}^2 t_{n2} + P_2^2 t_2}{t_{n1} + t_{n2} + t_1 + t_2}} \quad (58)$$

### 2.3.12. Приведение повторно-кратковременной мощности к стандартному значению ПВ<sub>ст</sub>

Полученное значение  $P_{пк}$  отвечает фактическому графику работы двигателя и, следовательно, тому значению ПВ, которое было определено в п. 2.3.8. Так как это значение, как правило, не совпадает со стандартной величиной ПВ<sub>ст</sub>, то мощность  $P_{пк}$  должна быть приведена к тому стандартному значению ПВ<sub>ст</sub>, по которому выбирался двигатель. Величина  $P_{пк.ст}$ , кВт

$$P_{пк.ст} = P_{пк} \sqrt{\frac{ПВ}{ПВ_{ст}}} \quad (59)$$

### 2.3.13. Окончательная проверка предварительно выбранного двигателя

Двигатель полностью подходит к данному механизму, если полученная мощность  $P_{пк.ст}$  удовлетворяет следующему неравенству:

$$P'_H < P_{пк.ст} \leq P_H, \quad (60)$$

где  $P'_H$  - номинальная мощность ближайшего двигателя меньшей мощности при той же величине ПВ<sub>ст</sub>;  
 $P_H$  - номинальная мощность предварительно выбранного двигателя при ПВ<sub>ст</sub> (см. п. 2.3.2).

### 2.4. Механизм горизонтального передвижения груза (мост)

Выбор мощности двигателя для механизма передвижения моста производится в основном по той же методике, что и для механизма передвижения тележки.

Продолжительность цикла и число циклов в час для моста принимаются такими же, как и для механизма подъема груза.

### 2.4.1. Определение сопротивления движению

Сопротивление движению при полном грузе, кгс,

$$W_1 = K_2 \frac{G}{\rho_K} (\mu \gamma_u + f), \quad (61)$$

где  $K_2$  - коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления движению в результате возможного перекоса моста в случае наличия подшипников качения,  $K_2 = 3,6$ ;

$G_1 = G + G_0 + G_T + G_M$  - вес груза, крана, тележки и моста, кг;

$R_K$  - радиус катка моста, см,  $R_K = A_M/2$ ;

$\mu$  - коэффициент трения цапф,  $\mu = 0,08 \dots 0,15$ ;

$r_u$  - радиус цапф моста, см,  $r_u = d_M/2$ ;

$f$  - коэффициент трения качения, см,  $f = 0,05$ .

Сопротивление движению без груза, кгс,

$$W_2 = K_2 \frac{G}{R_K} (\mu r_u + f) \quad (62)$$

где вес  $G_2$ , кг,

$$G_2 = G_0 + G_T + G_M$$

#### 2.4.2. Предварительный выбор двигателя

Определяется ориентировочная величина мощности, которая необходима для перемещения моста с полным грузом, кВт,

$$P' = \frac{W_1 v_{M1}}{102 \eta_M} \quad (63)$$

Затем определяется предварительная величина ПВ; для этого вычисляется время работы за один цикл, с,

$$t'_{p.u} = \frac{4L_M}{v_1 + v_2} \quad (64)$$

где  $v_1 = v_2 = v_{M1}$  - скорость передвижения моста с грузом, м/с; тогда

$$ПВ' = \frac{t'_{p.u}}{T} \quad (65)$$

где  $T$  - продолжительность цикла, с, определенная для механизма подъема.

Приведение мощности  $P'$  к ближайшему стандартному значению

$$ПВ_{ст}, кВт: \quad P_{ст} = P' \sqrt{\frac{ПВ'}{ПВ_{ст}}} \quad (66)$$

По величинам  $P_{ст}$  и  $ПВ_{ст}$  в каталоге (прил. I) находят двигатель с мощностью  $P_H$ , ближайшей к  $P_{ст}$ . Для моста выбирается двигатель с запасом, поэтому если  $P_H$  близка к  $P_{ст}$ , то для предварительного рассмотрения выбирается двигатель большей мощности. Выписываются все данные двигателя (мощности всех ПВ, кратность максимального момента, моменты инерции ротора и муфты, вес двигателя).

#### 2.4.3. Определение передаточного числа

Передаточное число между двигателем и катками моста определяется при скорости  $v_{M1} = v_1$ , которая отвечает номинальной частоте вращения двигателя  $n_n$ ; тогда

$$i = \frac{n_n \cdot R_K}{9,55 \cdot v_1} \quad (67)$$

где  $R_K$  - радиус катка моста, м.

#### 2.4.4. Определение вращающих моментов на валу двигателя при статической нагрузке

Вращающий момент при движении моста с полным грузом, Н·м,

$$M_1 = \frac{9,81 \cdot W_1 \cdot R_K}{i \cdot \eta_M} \quad (68)$$

Вращающий момент при движении моста без груза, Н·м,

$$M_2 = \frac{9,81 \cdot W_2 \cdot R_K}{i \cdot \eta_2} \quad (69)$$

где

$$\eta_2 = \frac{1}{\frac{1}{\eta_1} + \frac{0,075}{\alpha} - 0,075}; \quad \alpha = \frac{G_1 - G}{G_1}$$

#### 2.4.5. Определение мощностей, развиваемых двигателем при статической нагрузке

Из прил. I для предварительно выбранного двигателя необходимо выписать и определить:

$$P_{15}, кВт; \quad n_{15}, об/мин; \quad M_{15} = 9550 \frac{P_{15}}{n_{15}}, Н·м;$$

$$P_{25}, кВт; \quad n_{25}, об/мин; \quad M_{25} = 9550 \frac{P_{25}}{n_{25}}, Н·м;$$

$$P_{40}, кВт; \quad n_{40}, об/мин; \quad M_{40} = 9550 \frac{P_{40}}{n_{40}}, Н·м;$$

$$P_{60}, кВт; \quad n_{60}, об/мин; \quad M_{60} = 9550 \frac{P_{60}}{n_{60}}, Н·м;$$

$$\frac{M_{max}}{M_{H25}} = K_n; \quad M_{max} = K_n M_{H25}$$

Синхронная частота вращения -  $n_0$ , об/мин.

По точкам  $M_{15}, n_{15}; M_{25}, n_{25}; M_{40}, n_{40}; M_{60}, n_{60}$  и синхронной частоте вращения  $n_0$  строится механическая характеристика  $n = f(M)$  (см. рис. 3). По кривой  $n = f(M)$  для полученных значений  $M_1$  и  $M_2$  определяются соответствующие им частоты вращения  $n_1$  и  $n_2$ .

Установившаяся скорость, м/с:

- при движении моста с грузом

$$v_1 = \frac{n_1 R_K}{955 \cdot i}, \quad (70)$$

- при движении без груза

$$v_2 = \frac{n_2 R_K}{955 \cdot i}. \quad (71)$$

Соответствующие мощности, кВт, вычисляются по формулам:

$$P_1 = \frac{M_1 n_1}{9550}, \quad (72) \quad P_2 = \frac{M_2 n_2}{9550}. \quad (73)$$

#### 2.4.6. Определение динамической нагрузки на двигатель моста

Учет динамической нагрузки на двигатель моста, как и для механизма передвижения тележки, производится в зависимости от того, какой способ пуска принят для механизма передвижения моста.

Г. Если управление двигателем производится вручную (при помощи барабанного или кулачкового контроллера) или автоматически (при помощи контактного контроллера) в функции времени, то задаются временем пуска  $t_n$  и по формулам (49) и (50) определяют динамические моменты при разгоне с грузом и без груза соответственно. Время пуска для моста при больших грузоподъемностях (25 - 50 тс) может доходить до 8...10 с.

Затем проверяется условие (51), в котором величина  $M_{max}$  представляет собой максимальный момент предварительно выбранного двигателя для привода моста.

Если величина  $M_{g.m1} + M_1$  превышает  $0,8 M_{max}$  предварительно намеченного двигателя, то задаются большей величиной  $t_n$  и вновь определяют  $M_{g.m1}$ , проверяя при этом условие (51).

При  $t_n > 10$  с приходится по условиям пуска выбирать двигатель большей мощности и повторять расчет. Это связано с тем, что для деповских кранов движение моста (как и передвижение тележки, о чем говорилось ранее) является рабочим движением, и увеличение времени пуска существенно уменьшает производительность крана.

2. Если управление двигателем моста осуществляется командо-контроллером и пуск в ход автоматизирован в функции тока, то задаются пусковым моментом, ограничивая его значение величиной  $0,8 M_{max}$  для предварительно выбранного двигателя.

Далее по выражениям (52) и (53) определяются величины динамических моментов  $M_{g.m1}$  и  $M_{g.m2}$ , а затем по формуле (54) вычисляют время пуска. Для различных режимов работы моста оно не должно быть меньше 3...4 секунд (как отмечалось при анализе других механизмов, не следует задаваться слишком большим значением пускового момента).

#### 2.4.7. Определение времени работы с установившейся скоростью

Время работы с установившейся скоростью при передвижении моста с грузом  $t_1$  и без него  $t_2$  определяется по уравнению (54); время торможения для моста составляет 4...6 с.

#### 2.4.8. Определение фактической относительной продолжительности включения

Фактическое значение ПВ определяется по формуле

$$ПВ = \frac{t_{n1} + t_{n2} + t_1 + t_2}{T}, \quad (74)$$

где  $T$  - продолжительность цикла (вычисляется по формуле (I)).

#### 2.4.9. Определение пусковых мощностей

По значениям пусковых моментов определяют величины мощностей, кВт, развиваемых двигателем моста при пуске:

$$P_{n1} = \frac{M_{n1} \cdot n_1}{9550}, \quad (75)$$

$$P_{n2} = \frac{M_{n2} \cdot n_2}{9550}. \quad (76)$$

#### 2.4.10. Построение графика нагрузки двигателя механизма передвижения моста

По данным  $P_{n1}, t_{n1}; P_1, t_1; P_{n2}, t_{n2}; P_2, t_2$  строят график нагрузки, примерный вид которого представлен ранее (см. рис. 4).

### 2.4.II. Определение повторно-кратковременной мощности

Мощность повторно-кратковременного режима, кВт, определяют по формуле

$$P_{пк} = \sqrt{\frac{P_{п1}^2 t_{п1} + P_{п2}^2 t_{п2} + P_{п3}^2 t_{п3} + P_{п4}^2 t_{п4}}{t_{п1} + t_{п2} + t_{п3} + t_{п4}}} \quad (77)$$

### 2.4.I2. Приведение повторно-кратковременной мощности к стандартному значению $P_{пв.ст}$

Полученное значение  $P_{пк}$  отвечает фактическому графику работы двигателя и, следовательно, тому значению ПВ, которое было определено в п. 2.4.8. Так как это значение, как правило, не совпадает со стандартной величиной  $P_{пв.ст}$ , то мощность  $P_{пк}$ , кВт, приводится к стандартному значению  $P_{пв.ст}$ , на которое выбран двигатель.

$$P_{пк.ст} = P_{пк} \sqrt{\frac{P_{пв}}{P_{пв.ст}}} \quad (78)$$

### 2.4.I3. Окончательная проверка предварительно выбранного двигателя

Двигатель полностью подходит к данному механизму, если полученная мощность  $P_{пк.ст}$  удовлетворяет следующему неравенству:

$$P'_H < P_{пк.ст} \leq P_H \quad (79)$$

где  $P'_H$  - номинальная мощность ближайшего двигателя меньшей мощности при той же величине  $P_{пв.ст}$ ;

$P_H$  - номинальная мощность предварительно намеченного двигателя при  $P_{пв.ст}$  (см. п. 2.4.2).

## 3. РАСЧЕТ ПУСКОРЕГУЛИРУЮЩИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

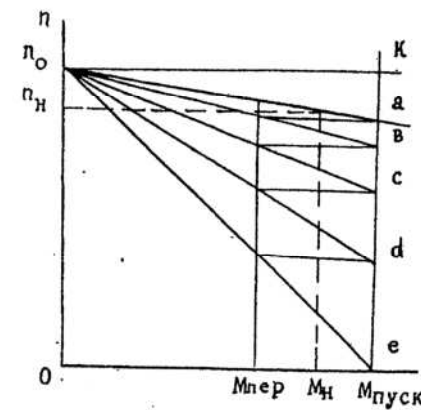
### 3.1. Методика расчета пусковых сопротивлений

При расчете пускорегулирующих сопротивлений для крановых приводов применяются аналитические и графические методы, изложенные в [7].

Более широкое распространение получили графические методы. Ниже представлен один из них.

### 3.2. Графический метод

Расчет пусковых сопротивлений для асинхронных двигателей с фазным ротором основан на прямолинейности механической характеристики. Проведем прямую  $n = f(M)$  через две точки  $n_0$  и  $n_H$ . Выбираются величины пускового и переключающего моментов, и для них строятся пусковые характеристики. Если при выключении последней



ступени сопротивления не выходят на естественную характеристику, то изменяется величина пускового или переключающего момента (или обе величины) с таким расчетом, чтобы момент переключения был больше момента сопротивления, а пусковой - не более  $0,85 M_{max}$  (рис. 5). По построенным характеристикам определяются активные сопротивления ступеней:

Рис. 5

$$z_4 = z_p \frac{aB}{Ka}$$

$$z_3 = z_p \frac{Bc}{Ka}; \quad z_2 = z_p \frac{cd}{Ka}; \quad z_1 = z_p \frac{de}{Ka}$$

где  $z_p$  - активное сопротивление ротора, Ом. Полные активные сопротивления:

$$R_4 = z_p \frac{KB}{Ka}; \quad R_3 = z_p \frac{KC}{Ka}; \quad R_2 = z_p \frac{Kd}{Ka}; \quad R_1 = z_p \frac{Ke}{Ka}$$

### 4. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Выбор системы электропривода определяется в основном условиями работы механизма и технологическими требованиями, предъявляемыми к нему.

К этим требованиям относятся: цикл работы механизма, диапазон и плавность регулирования скорости двигателя, вид механических характеристик, частота включения; учитываются также особенности окружающей среды.



При рассмотрении вариантов необходимо проанализировать возможности применения систем электропривода на переменном токе; если такой вариант не удовлетворяет поставленным требованиям, следует переходить к системам постоянного тока.

Тип двигателя определяется видом нагрузочной диаграммы механизма и режимом его работы, а мощность — соответствующим расчетом.

Системы управления электроприводом крановых механизмов относятся к категории устройств, находящихся под непрерывным контролем оператора, т.е. в этих системах момент начала операции, скоростные параметры и момент окончания операции выбираются лицом, управляющим механизмом.

Система управления, в свою очередь, должна обеспечивать необходимую последовательность переключений для реализации желаемых скоростных параметров, предотвращать недопустимые перегрузки и обеспечивать необходимую защиту.

В конкретном заданном варианте отсутствуют специальные требования к системе электропривода.

Для механизмов подъема кранов данного типа обычно применяются асинхронные двигатели с фазным ротором, управляемые контроллерами или магнитными контроллерами. Магнитные контроллеры управляются командоконтроллерами, которые включают соответствующую аппаратуру, что позволяет осуществлять плавное регулирование скорости двигателя при подъеме и опускании груза.

Возможны два режима работы механизма подъема: при медленном и при быстром перемещении рукоятки командоконтроллера. При медленном перемещении предполагается остановка рукоятки на каждом положении; при этом двигатель работает при установившейся скорости на каждой ступени регулирования. Быстрое перемещение рукоятки в крайнее положение обеспечивает пуск двигателя в функции времени или тока. В этом случае время разгона двигателя на каждой характеристике определяется временем срабатывания реле и контакторов, выключающих пускорегулирующие сопротивления в цепи ротора.

Спуск груза производится плавно. Опускание груза на площадку необходимо осуществлять с относительно небольшой скоростью и малым ускорением.

При пуске и торможении без груза отпадает необходимость в точной остановке, поэтому используются быстрый разгон и торможение.

Для механизмов подъема возможно применение электропривода с тиристорными преобразователями частоты и напряжения. Тиристорный преобразователь включается в цепь статорных обмоток и осуществляет регулирование напряжения и частоты. Эта система позволяет получить широкий диапазон регулирования скорости и устойчивые малые скорости при применении асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Кроме того, обеспечивается бестоковая коммутация в силовых цепях, что существенно улучшает характеристики износостойкости аппаратуры и увеличивает срок ее службы. Недостатком такой системы являются относительно высокая стоимость, сложные первоначальная настройка и наладка, а также необходимость квалифицированного обслуживания.

Для кранов, работающих в тяжелом режиме (при мощности двигателя до 10 кВт, ПВ = 25 %) и в среднем режиме (при мощности до 30 кВт), используются кулачковые контроллеры. При этом питание к двигателям подается через защитную панель и силовой контроллер, посредством которого изменяются сопротивления в цепи ротора двигателя.

При большой мощности двигателей такая аппаратура управления в их силовых цепях становится громоздкой и при частых включениях требует значительных затрат физических сил. Поэтому при мощности двигателей более 30 кВт применяют магнитные контроллеры. В этом случае пускорегулирующие сопротивления выводятся контактами контакторов, управляемых от командоконтроллера, представляющего собой легкий аппарат, не требующий больших физических усилий при переключениях. У некоторых типов магнитных контроллеров защитная панель отсутствует, а аппаратура защиты устанавливается на основной панели.

В схему защитной панели вводится блокировка, предотвращающая пуск двигателя в случае, если один из контроллеров находится на ненулевом положении. Промышленностью выпускаются защитные панели типа ПЗКБ-160, ПЗКБ-400 для кранов, работающих на переменном токе.

Крановые кулачковые контроллеры применяются для управления асинхронными двигателями с фазным ротором; это контроллеры типа ККТ-61, 62, 101, 102.

Силовые кулачковые контроллеры относятся к категории аппаратов ручного управления. Коммутационные элементы размещаются на

двух пластмассовых рейках. Замыкание и размыкание контактов осуществляется с помощью кулачковых шайб, смонтированных на изолированном валу. Вал поворачивается с помощью рукоятки (штурвала) вправо или влево.

Контроллеры типа ККТ-6I, 62, 10I, 102 имеют пять положений. Каждая из шайб управляет одновременно двумя кулачковыми элементами (контактами). Кулачковые шайбы имеют определенный профиль для создания необходимой последовательности коммутации.

Коммутация тока контактами контроллера естественная. Дугогасительные катушки устанавливаются только на статорных контактах (на контактах, включаемых в цепь ротора, они отсутствуют).

При перемещении рукоятки контроллера в схеме последовательно замыкаются ступени пусковых сопротивлений. Сопротивления в роторной цепи выводятся несимметрично, что позволяет сократить число переключающих контактов контроллера и в то же время получить механические характеристики, обеспечивающие требуемый режим работы механизмов. Поворот рукоятки в противоположном направлении вызывает переключение обмоток статора двигателя (реверс). В схеме контроллера предусматриваются возможности включения нулевой блокировки и конечной защиты.

Типовая схема управления механизмом подъема, снабженного асинхронным двигателем с фазным ротором, при помощи кулачкового контроллера типа ККТ-6I приведена на рис. 6.

Магнитные контроллеры конструктивно представляют собой панель с размещенной на ней аппаратурой управления и защиты. Для управления двигателями переменного тока мощностью до 180 кВт промышленностью выпускаются стандартные магнитные контроллеры типов: Т, ТА, ТА3 - для механизмов передвижения тележки, моста и механизма поворота; ТС, ТСА, ТСА3 - для механизмов подъема.

Все магнитные контроллеры имеют максимальную защиту от снижения напряжения питающей сети. Эта защита (реле РН) контролирует напряжение питания двигателя и аппаратуры управления. В цепь катушки включаются контакты максимального токового реле ТР1, ТР2, ТР3.

Если с крана снято напряжение и крановщик ушел, оставив рукоятку контроллера на ненулевом положении, то при подаче питания к схеме пуск двигателя невозможен до тех пор, пока рукоятка контроллера не будет поставлена в нулевое положение.

Учитывая изложенное, для механизма подъема целесообразно

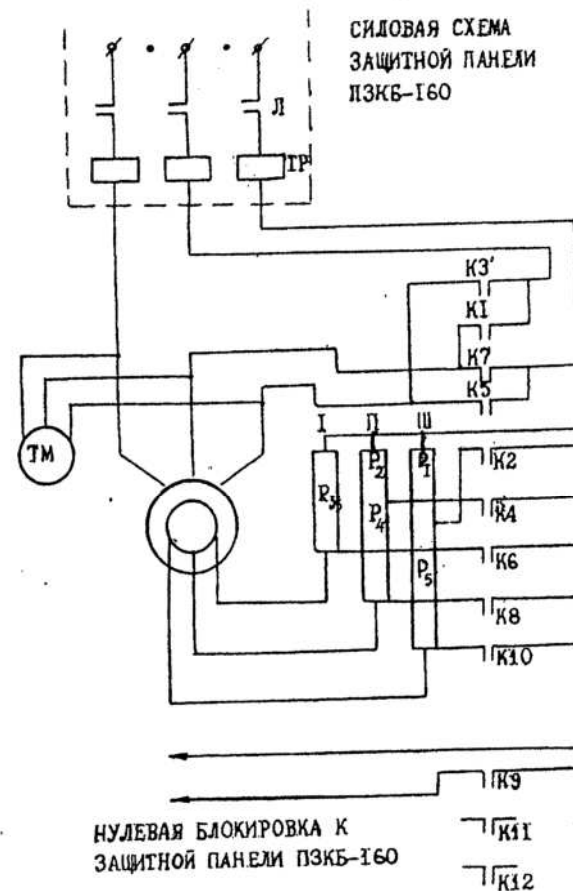


Рис. 6

применять двигатель с фазным ротором с включением в цепь ротора необходимого (определяемого расчетом) числа пускорегулирующих сопротивлений.

В данном случае принципиальная схема механизма подъема крана должна включать: защитную панель, тормозной электромагнит, командоконтроллеры, контакторы, реле и пускорегулирующие сопротивления. Типовая схема механизма подъема приведена на рис. 7.

На положениях спуска контроллер имеет более сложную схему. Так, на первом (после нулевого) положении С замкнутыми ока-

кредит.

зависят контакты K2, K6, K7, K8 командоконтроллера. Вследствие  
 ... в работе ... главный выключатель КН и получают пи-

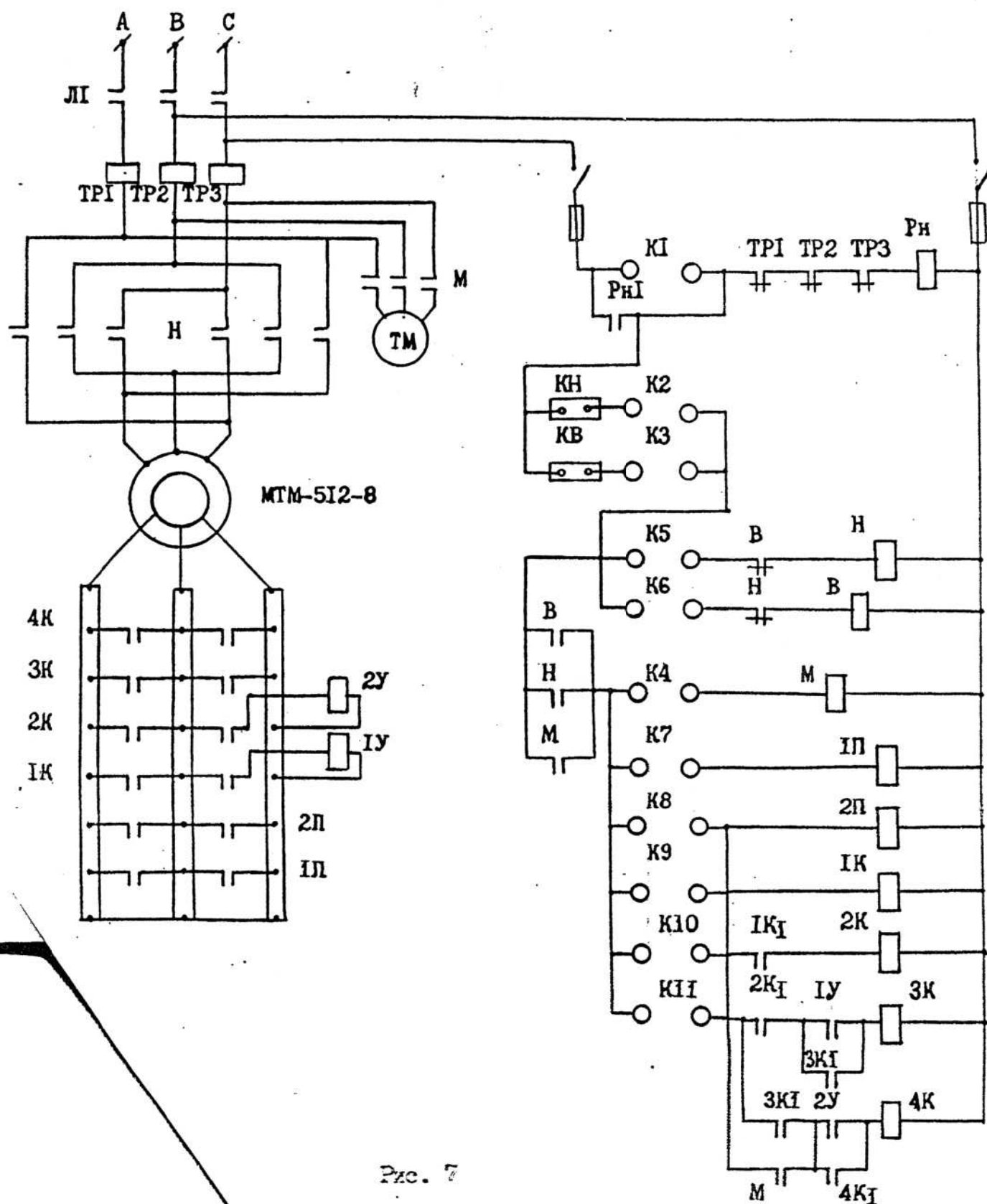


Рис. 7

Питание силовой цепи магнитного контроллера осуществляется от трехфазной сети через токоре катушки максимального реле ТР. Для реверсирования электродвигателя служат контакторы В и Н.

Включаются контакты К2, К6, К7, К8 командоконтроллера. Вследствие этого в работе участвует конечный выключатель КН и получают питание катушки контакторов В, ИИ, ЗП. Контакт В подключает двигатель для работы на подъем с введением в ротор ступеней сопротивления. Это положение является подготовительным. Далее командоконтроллер переводится в первое положение, при котором катушка контактора М получает питание, а катушка контактора ЗП выключается. Одновременно открывается тормоз и уменьшается момент двигателя, имеющий направление, противоположное моменту механизма. Перевод командоконтроллера в следующее положение отключает контактор ИИ и вводит сопротивление в ротор, поэтому момент электродвигателя становится еще меньше. Таким образом, эти два положения при спуске дают возможность подобрать момент электродвигателя, необходимый для обеспечения медленного опускания груза.

Если вес груза недостаточен для того, чтобы преодолеть момент электродвигателя, направленный в обратную сторону, командоконтроллер переводится в следующее положение. Катушка контактора В отключается, получают питание через контакты К5, К7, К8 и включаются катушки контакторов Н, ИИ, ЗП. Спуск груза начинается как под действием его собственного веса, так и за счет усилия электродвигателя. Для увеличения скорости опускания груза командоконтроллер переводят в следующее положение; в результате чего будут выводиться сопротивления в цепи ротора.

Принципиальные схемы управления двигателями механизмов передвижения тележки или моста аналогичны ранее рассмотренным и отличаются только тем, что схемы симметричны для движения "вперед" и "назад" и имеют обычно меньше позиций.

На рис. 8 приведена типовая схема с магнитным контроллером для механизма передвижения.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенный в пособии материал дает студенту возможность самостоятельно решить все вопросы, поставленные в курсовой работе.

Напомним, что при выполнении курсовой работы требуется произвести расчет необходимой мощности двигателя для соответствующего ПЗ и осуществить выбор двигателя; рассчитать пускорегулирующие сопротивления, включаемые в цепь ротора двигателя; выбрать и обосновать принципиальную схему управления соответствующим механизмом, начертить силовую схему и схему управления заданными механизмами крана.



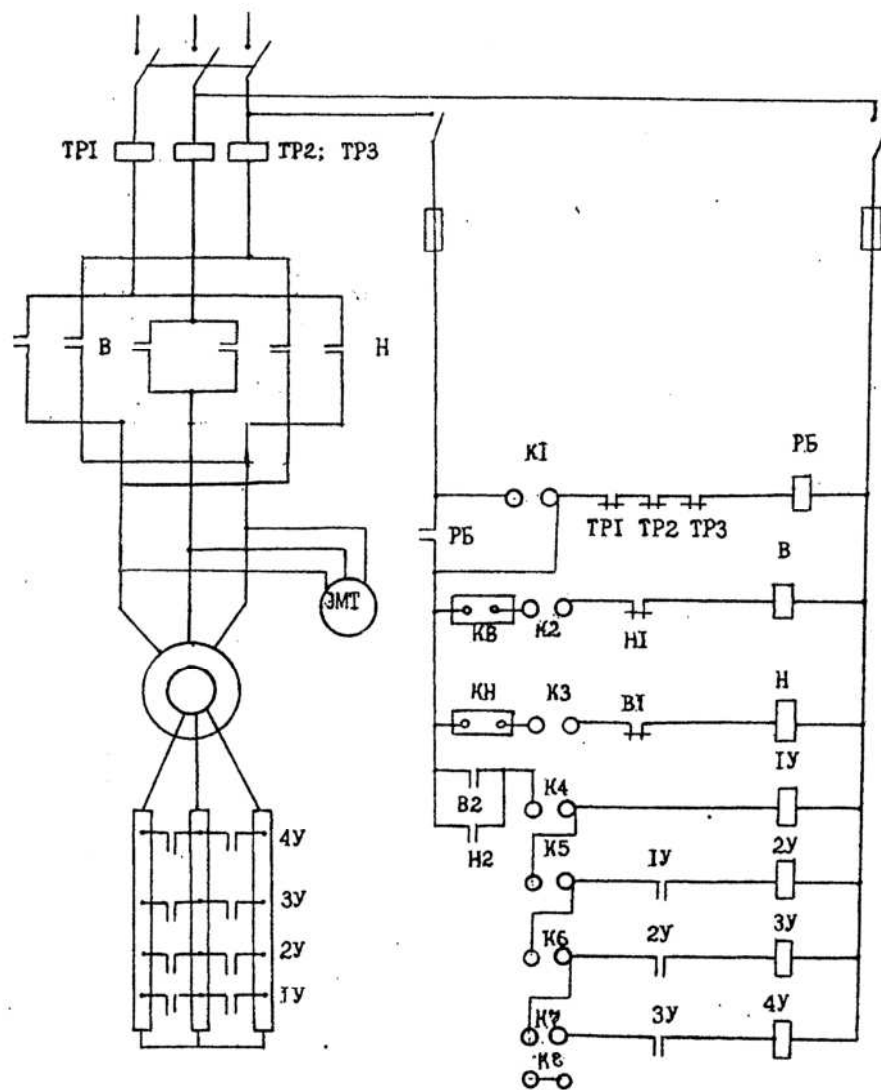


Рис. 8

ПРИЛОЖЕНИЕ I  
Таблица I

Технические данные красновых электродвигателей  
серии МТФ с фазным ротором, 50 Гц, 220/380 В

Тип двигателя	Мощность на валу, кВт, при						Частота вращения, об/мин	Ток статора I <sub>Δ</sub> , при 380 В	cos φ	К.п.д., %	Ток ротора, А	Напряжение между кольцами ротора, В	Максимальный момент, Н·м	Момент инерции ротора, кг·м <sup>2</sup>	Момент инерции двигателя, кг·м <sup>2</sup>	Масса двигателя, кг
	ПВ = 15 %	ПВ = 25 %	ПВ = 40 %	ПВ = 60 %	30 мин	60 мин										
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
МТФ011-6	2,0	1,7	1,4	-	-	-	800	7,1	0,78	55,0	16,5	116	39	0,021	0,016	51
МТФ012-6	3,1	2,1	2,2	-	-	-	785	10,4	0,78	58,0	18,5	144	56	0,029	0,016	56
МТФ013-6	4,5	4,1	3,5	-	-	-	840	8,9	0,74	62,0	15,0	176	85	0,049	0,021	76

Продолжение табл. I

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
МТФ112-6	6,5	-	-	-	-	-	895	17,5	0,78	72,0	21,8					
	-	5,8	-	-	-	-	915	16,0	0,74	74,0	19,0			0,068	0,021	88
	-	-	5,0	-	5,0	-	930	14,4	0,70	75,0	15,7	216	137			
	-	-	-	4,0	-	4,0	950	13,2	0,62	74,0	12,0					
МТФ211-6	10,5	-	-	-	-	-	895	27,5	0,78	74,0	30,0					
	-	9,0	-	-	-	-	915	24,0	0,74	77,0	25,0	256	191	0,115	0,07	120
	-	-	7,5	-	7,5	-	930	21,0	0,70	77,0	19,8					
	-	-	-	6,0	-	6,0	945	18,5	0,63	78,0	15,5					
МТФ311-6	14,0	-	-	-	-	-	925	37,0	0,76	75,5	56,0					
	-	13,0	-	-	-	-	935	34,5	0,74	77,0	51,0	172	314	0,225	0,07	170
	-	-	11,0	-	11,0	-	945	30,5	0,69	79,0	42,0					
	-	-	-	9,0	-	9,0	960	28,0	0,63	77,0	34,0					
МТФ312-6	19,5	-	-	-	-	-	945	46,5	0,78	80,0	61,0					
	-	17,5	-	-	-	-	960	42,5	0,72	81,0	54,0	219	471	0,313	0,081	210
	-	-	15,0	-	15,0	-	955	38,0	0,65	82,0	46,0					
	-	-	-	12,0	-	12,0	965	34,0	0,59	81,0	36,0					
МТФ411-6	30,0	-	-	-	-	-	945	69,5	0,78	82,0	86,0					
	-	27,0	-	-	-	-	955	64,0	0,74	83,0	77,0	235	638	0,5	0,094	290
	-	-	22,0	-	22,0	-	965	55,0	0,68	83,5	60,0					
	-	-	-	18,0	-	18,0	970	49,0	0,57	83,0	49,0					

Продолжение табл. I

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
МТФ412-6	40,0	-	-	-	-	-	960	94,0	0,81	84,0	100,0					
	-	36,0	-	-	-	-	965	86,0	0,79	84,5	88,0	255	932	0,675	0,094	345
	-	-	30,0	-	30,0	-	970	75,0	0,73	85,5	73,0					
	-	-	-	25,0	-	25,0	975	70,0	0,65	83,5	61,0					
МТФ311-6	10,5	-	-	-	-	-	665	29,0	0,78	71,0	32,0					
	-	9,0	-	-	-	-	680	25,6	0,74	72,0	26,0	245	215	0,275	0,016	170
	-	-	7,5	-	7,5	-	695	22,8	0,70	73,0	21,0					
	-	-	-	6,0	-	6,0	710	21,0	0,62	72,0	16,0					
МТФ312-8	15,0	-	-	-	-	-	680	37,5	0,8	76,0	63,0					
	-	13,0	-	-	-	-	695	34,0	0,76	76,5	53,0	165	422	0,387	0,021	210
	-	-	11,0	-	11,0	-	705	30,5	0,71	77,0	43,0					
	-	-	-	8,2	-	8,2	720	27,0	0,61	75,5	32,0					
МТФ411-8	22,0	-	-	-	-	-	685	56,0	0,76	78,0	76,0					
	-	18,0	-	-	-	-	700	46,7	0,73	80,0	59,0	206	569	0,537	0,094	280
	-	-	15,0	-	-	-	710	42,0	0,67	81,0	48,8					
	-	-	-	13,0	-	-	715	38,5	0,63	81,0	42,0					
МТФ412-8	30,0	-	-	-	-	-	705	78,5	0,71	81,0	80,5					
	-	26,0	-	-	-	-	715	71,0	0,68	82,0	68,0	248	883	0,71	0,11	345
	-	-	22,0	-	-	-	720	65,0	0,63	82,0	57,0					
	-	-	-	18,0	-	-	730	59,5	0,56	81,0	46,0					

Т а б л и ц а 2  
Технические данные металлургических электродвигателей  
серии МТН с фазным ротором, 50 Гц, 220/380 В

Тип двигателя	Мощность на валу, кВт, при						Частота вращения, об/мин	Ток статора В, при 380 В	$\cos \varphi$	К.п.д., %	Ток ротора, А	Напряжения между контактами ротора, В	Максимальный момент, Н·м	Момент инерции ротора, кг·м <sup>2</sup>	Момент инерции муфты, кг·м <sup>2</sup>	Масса привода, кг
	ПД = 15 %	ПВ = 25 %	ПВ = 40 %	ПВ = 60 %	30 мин	60 мин										
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
МТН11-6	3,5	-	-	-	-	-	870	11,6	0,72	64,0	16,5					
	-	3,0	-	-	3,0	-	895	10,5	0,67	65,0	13,2	176	83	0,047	0,021	76
	-	-	2,5	-	-	2,5	920	9,8	0,60	65,0	10,8					
	-	-	-	2,0	-	-	940	9,2	0,52	63,0	8,5					
МТН12-6	5,3	-	-	-	-	-	885	15,3	0,76	69,0	19,0					
	-	4,5	-	-	4,5	-	910	13,9	0,71	69,0	15,6	203	118	0,067	0,021	88
	-	-	3,6	-	-	3,6	930	12,6	0,64	68,0	12,2					
	-	-	-	3,0	-	-	945	12,1	0,58	65,0	10,0					
МТН21-6	8,2	-	-	-	-	-	900	24,6	0,70	72,0	23,0					
	-	7,0	-	-	7,0	-	920	22,5	0,64	73,0	19,5	236	196	0,115	0,07	120
	-	-	5,6	-	-	5,6	940	21,5	0,56	72,0	14,7					
	-	-	-	4,2	-	-	955	19,5	0,47	69,0	10,7					

Продолжение табл. 2

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
МТН31-6	13,0	-	-	-	-	-	925	35,0	0,74	76,0	51,0					
	-	11,0	-	-	11,0	-	940	31,5	0,69	78,0	42,0	172	314	0,225	0,07	170
	-	-	9,0	-	-	9,0	955	28,5	0,63	76,0	34,0					
	-	-	-	7,0	-	-	965	26,5	0,55	73,0	25,5					
МТН32-6	17,5	-	-	-	-	-	945	43,0	0,77	80,0	54,0					
	-	15,0	-	-	15,0	-	950	38,5	0,73	81,0	46,0	219	471	0,312	0,081	210
	-	-	12,0	-	-	12,0	960	34,5	0,66	80,5	36,0					
	-	-	-	9,0	-	-	965	31,5	0,57	76,0	26,5					
МТН41-6	27,0	-	-	-	-	-	950	65,0	0,77	82,0	77,0					
	-	22,0	-	-	22,0	-	960	55,5	0,73	82,5	60,0	235	638	0,5	0,094	250
	-	-	18,0	-	-	18,0	965	50,0	0,67	82,0	49,0					
	-	-	-	14,0	-	-	975	46,0	0,57	80,5	38,0					
МТН42-6	36,0	-	-	-	-	-	955	87,0	0,75	83,5	88,0					
	-	30,0	-	-	30,0	-	965	76,0	0,71	84,5	73,0	255	932	0,67	0,094	345
	-	-	25,0	-	-	25,0	970	69,5	0,65	84,0	61,0					
	-	-	-	18,0	-	-	980	60,5	0,55	82,0	42,0					
МТН512-6	65,0	-	-	-	65,0	-	955	137,0	0,82	88,0	130,0					
	-	55,0	-	-	-	55,0	960	120,0	0,79	88,0	105,0	340	1630	1,02	0,11	520
	-	-	44,0	-	-	-	970	99,0	0,76	89,0	86,0					
	-	-	-	33,0	-	-	980	85,0	0,67	88,0	63,0					

Продолжение табл. 2

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
МТН611-6	85,0	-	-	-	85,0	-	940	175,0	0,86	86,0	204,0	-	-	-	-	-
	-	75,0	-	-	-	75,0	950	154,0	0,85	87,0	180,0	270	2610	3,27	0,32	810
	-	-	58,0	-	-	-	960	127,0	0,80	87,0	140,0	-	-	-	-	-
	-	-	-	45,0	-	-	970	107,0	0,74	86,0	108,0	-	-	-	-	-
МТН612-6	112,0	-	-	-	112,0	-	950	225,0	0,86	88,0	207,0	-	-	-	-	-
	-	95,0	-	-	-	95,0	960	193,0	0,85	88,0	176,0	366	3580	4,1	0,4	930
	-	-	80,0	-	-	-	965	171,0	0,81	88,0	148,0	-	-	-	-	-
	-	-	-	60,0	-	-	975	140,0	0,75	87,0	111,0	-	-	-	-	-
МТН613-6	140,0	-	-	-	140,0	-	955	278,0	0,86	89,0	190,0	-	-	-	-	-
	-	118,0	-	-	-	118	960	237,0	0,84	90,0	160,0	473	4660	5,1	0,49	1100
	-	-	94	-	-	-	965	199,0	0,80	90,0	128,0	-	-	-	-	-
	-	-	-	70	-	-	970	164,0	0,73	89,0	95,0	-	-	-	-	-
МТН311-8	9,0	-	-	-	-	-	675	26,1	0,74	70,5	26,0	-	-	-	-	-
	-	7,5	-	-	7,5	-	690	23,4	0,68	71,5	21,0	245	265	0,27	0,07	170
	-	-	-	-	-	6,0	705	21,3	0,60	71,0	16,0	-	-	-	-	-
	-	-	6,0	4,5	-	-	715	19,5	0,50	69,5	12,0	-	-	-	-	-
МТН312-8	13,0	-	-	-	-	-	690	34,7	0,74	77,0	53,0	-	-	-	-	-
	-	11,0	-	-	11,0	-	700	31,0	0,69	78,0	43,0	165	422	0,31	0,081	210
	-	-	8,2	-	-	8,2	715	27,5	0,58	78,0	32,0	-	-	-	-	-
	-	-	-	6,0	-	-	725	25,0	0,49	74,0	24,0	-	-	-	-	-

Продолжение табл. 2

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
МТН411-8	18	-	-	-	-	-	695	48,0	0,73	78,0	59,0	-	-	-	-	-
	-	15	-	-	15	-	705	43,0	0,67	79,0	48,8	206	569	0,53	0,094	280
	-	-	13	-	-	13	710	39,8	0,63	79,0	42,0	-	-	-	-	-
	-	-	-	10	-	-	720	35,6	0,55	77,5	31,5	-	-	-	-	-
МТН412-8	26	-	-	-	-	-	710	72,0	0,68	80,5	68,0	-	-	-	-	-
	-	22	-	-	22	-	715	66,0	0,63	80,5	57,0	248	883	0,75	0,11	345
	-	-	18	-	-	18	725	61,0	0,56	80,0	46,0	-	-	-	-	-
	-	-	-	13	-	-	730	55,0	0,46	78,0	33,0	-	-	-	-	-
МТН511-8	34	-	-	-	34	-	695	82,0	0,77	82,0	81,0	-	-	-	-	-
	-	28	-	-	-	28	705	71,0	0,72	83,0	64,0	281	1000	1,07	0,11	470
	-	-	23	-	-	-	715	63,0	0,66	84,0	57,0	-	-	-	-	-
	-	-	-	16	-	-	725	57,0	0,58	83,0	41,0	-	-	-	-	-
МТН512-8	45	-	-	-	45	-	695	104,0	0,79	83,0	94,0	-	-	-	-	-
	-	37	-	-	-	37	705	89,0	0,74	85,0	77,0	306	1370	1,4	0,28	570
	-	-	31	-	-	-	715	79,0	0,69	86,0	63,0	-	-	-	-	-
	-	-	-	25	-	-	725	70,0	0,63	86,0	50,0	-	-	-	-	-
МТН611-10	53	-	-	-	53	-	560	128,0	0,76	83,0	185,0	-	-	-	-	-
	-	45	-	-	-	45	570	112,0	0,72	84,0	154,0	185	2320	4,25	0,4	900
	-	-	36	-	-	-	575	98,0	0,66	85,0	123,0	-	-	-	-	-
	-	-	-	28	-	-	580	90,0	0,56	85,0	94,0	-	-	-	-	-

Продолжение табл. 2

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
МТН612-10	70	60	-	-	70	-	560	165,0	0,77	84,0	181,0	248	3140	5,25	0,49	1070
МТН613-10	90	75	-	-	90	75	575	180,0	0,72	88,0	145,0	320	4120	6,22	0,62	1240
МТН711-10	125	100	-	-	125	100	580	287,0	0,74	89,5	294,0	272	4560	10,25	0,7	1350
МТН712-10	155	125	-	-	155	125	585	300,0	0,70	90,3	237,0	327	5690	12,7	0,82	1700
МТН713-10	200	160	-	-	200	160	590	262,0	0,65	89,0	185,0	408	7310	15,0	0,9	1900

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица замыканий механизма подъема при помощи кулачкового контроллера ККТ-61 (к рис. 6)

Контакты контрол- лера	При подъеме					При спуске					
	Положения рукоятки контроллера										
	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5
K3							X	X	X	X	X
K1	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X
K7											
K5	X	X	X	X	X			X	X	X	X
K2	X	X	X	X					X	X	X
K4	X	X	X							X	X
K6	X	X	X								X
K8	X	X									X
K10	X					X					X
K9											
K11											
K12											

K11, K12 - для подключения конечных выключателей

Таблица замыканий механизма подъема при помощи магнитного контроллера (к рис. 7)

Контакты контроллера	При спуске						При подъеме						
	Сила			Тормоз									
	Положения рукоятки						Контроллера						
	5	4	3	2	1	0	0	1	2	3	4	5	
K1							X						
K2	X	X	X					X	X	X	X	X	
K3				X	X	X							
K4	X	X	X										
K5	X	X	X										
K6				X	X	X		X	X	X	X	X	
K7	X	X	X					X	X				
K8	X	X	X										
K9	X	X	X										
K10	X	X	X										
K11	X	X	X										
K12	X	X	X										

Таблица замыканий механизма передвижения тележки (моста) при помощи магнитного контроллера (к рис. 8)

Контакты контроллера	При движении вперед					При движении назад					
	Положения рукоятки контроллера										
	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5
K1						X					
K2	X	X	X	X	X						X
K3							X	X	X	X	X
K4	X	X	X	X							
K5	X	X	X								
K6	X	X									
K7	X					X					
K8											



# ПРИЛОЖЕНИЕ 3

## ПРИМЕР РАСЧЕТА МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА ГРУЗА

### Общие данные крана:

грузоподъемность  $G = 30\ 000\ \text{кг}$ ;  
число циклов в час  $Z = 6$ ;  
род тока - переменный, трехфазный;  
напряжения линейное  $U = 220/380\ \text{В}$ .

### Механизм подъема груза (вертикального перемещения груза):

масса крюка (захватного устройства)  $G_o = 1200\ \text{кг}$ ;  
средняя скорость подъема  $V_{cp} = 0,103\ \text{м/с}$ ;  
средняя высота подъема  $H_{cp} = 4,7\ \text{м}$ ;  
диаметр барабана лебедки  $D_o = 0,5\ \text{м}$ ;  
к.п.д. лебедки при подъеме полного груза  $\eta_1 = 0,87$ .

### 1. РАСЧЕТ МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА ГРУЗА

#### 1.1. Продолжительность цикла

$$T = \frac{3600}{6} = 450\ \text{с.} \quad (1)^*$$

1.2. Приближенная величина мощности, необходимая для подъема полного груза,

$$P' = \frac{(30\ 000 + 1200) \times 0,103}{102 \times 0,87} = 37,0\ \text{кВт.} \quad (2)$$

1.3. Время работы двигателя подъема в течение одного цикла

$$t'_{pu} = 4 \times \frac{4,7}{0,103} = 182,5\ \text{с.} \quad (3)$$

1.4. Относительная продолжительность включения двигателя,

$$ПВ = \frac{182,5}{450} \times 100 = 40,5\ \%. \quad (4)$$

Приводим значение мощности к стандартному значению  $ПВ_{ст} = 40\ \%$ :

$$P_{ст} = 37,0 \sqrt{\frac{40,5}{40}} = 37,23\ \text{кВт.} \quad (5)$$

\* Указаны номера формул, приведенных в основном тексте данного учебного пособия.

Выбираем двигатель типа МТН611-10 со следующими данными:  
 $P_n = 36\ \text{кВт}$  при  $ПВ = 40\ \%$ ;  $n = 575\ \text{об/мин}$ ;  $I_1 = 98,0\ \text{А}$ ;  $\cos \varphi = 0,66$ ;  $\eta = 85\ \%$ ;  $I_2 = 123\ \text{А}$ ;  $U_2 = 185\ \text{В}$ ;  $M_{max} = 2320\ \text{Н·м}$ ;  
 $J_p = 4,25\ \text{кг·м}^2$ ;  $J_n = 0,4\ \text{кг·м}^2$ ;  $G_{дв} = 900\ \text{кг}$ .

### 1.5. Моменты на валу двигателя:

- при подъеме полного груза

$$M_1 = \frac{9,81(30\ 000 + 1200)}{146 \times 0,87} \times \frac{0,5}{2} = 602\ \text{Н·м}, \quad (6)$$

$$\text{где } i = \frac{575 \times 0,25}{9,55 \times 0,103} = 146; \quad (7)$$

- при опускании полного груза

$$M_2 = \frac{9,81(30\ 000 + 1200) \times 0,5 \times 0,851}{2 \times 146} = 446\ \text{Н·м}, \quad (8)$$

$$\text{где } i' = 2 - \frac{1}{0,87} = 0,851; \quad (9)$$

- при подъеме пустого захватного приспособления (крюка)

$$M_3 = \frac{9,81 \times 1200 \times 0,5}{2 \times 146 \times 0,33} = 61\ \text{Н·м}, \quad (10)$$

$$\text{где } i'' = \frac{1}{(1/0,87) + (0,075/0,0385) - 0,075} = 0,33, \quad (11)$$

$$\alpha = \frac{1200}{30\ 000 + 1200} = 0,0385;$$

- при опускании пустого захватного приспособления (крюка)

$$M_4 = \frac{9,81 \times 1200 \times 0,5}{2 \times 146} \left( 2 - \frac{1}{0,33} \right) = -21,0\ \text{Н·м}. \quad (12)$$

1.6. Определение мощностей, развиваемых двигателем при статической нагрузке. Построение механической характеристики (рис. 9)

$$M = 9550 \frac{P}{n};$$

$$n_0 = \frac{60 f_1}{I} = \frac{60 \times 50}{5} = 600 \text{ об/мин};$$

$$0,8 M_{max} = 1856 \text{ Н·м}.$$

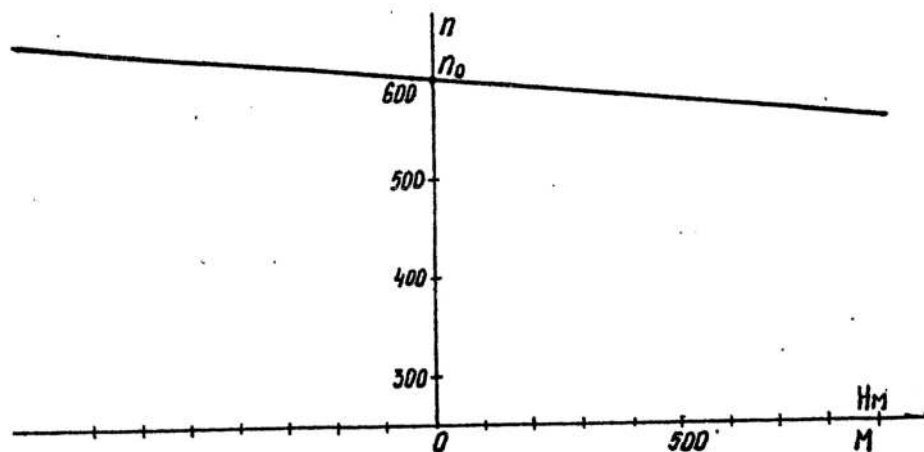


Рис. 9

По механической характеристике  $n = f(M)$  при заданных значениях  $M_1, M_2, M_3$  и  $M_4$  определяем значения частот вращения:  $n_1 = 570$  об/мин,  $n_2 = 675$  об/мин;  $n_3 = 590$  об/мин;  $n_4 = 555$  об/мин.

Установившееся значение скорости при различных режимах работы механизма подъема:

$$v_1 = \frac{570 \times 0,25}{9,55 \times 146} = 0,102 \text{ м/с}; \quad (13)$$

$$v_2 = \frac{675 \times 0,25}{9,55 \times 146} = 0,103 \text{ м/с};$$

$$v_3 = \frac{590 \times 0,25}{9,55 \times 146} = 0,106 \text{ м/с};$$

$$v_4 = \frac{555 \times 0,25}{9,55 \times 146} = 0,108 \text{ м/с}.$$

Установившееся значение мощности при различных режимах работы механизма подъема:

$$P_1 = \frac{602 \times 570}{9550} = 35,93 \text{ кВт}; \quad (14)$$

$$P_2 = \frac{446 \times 675}{9550} = 26,85 \text{ кВт};$$

$$P_3 = \frac{61 \times 590}{9550} = 3,76 \text{ кВт};$$

$$P_4 = - \frac{21 \times 555}{9550} = -1,33 \text{ кВт}.$$

### 1.7. Определение динамической нагрузки на двигатель

Считаем, что управление двигателем осуществляется с помощью контакторного контроллера, при котором пуск в ход происходит в функции времени. Задаемся временем пуска  $t_n = 3$  с, одинаковым для всех четырех режимов работы. Определяем для каждого режима работы величину динамического момента:

- при подъеме полного груза

$$M_{дин1} = 1,028 \frac{1,15 \times 4,65 \times 570}{3} + 9,55 \frac{31 \times 200 \times 0,102^2}{570 \times 3 \times 0,87} = 1046 \text{ Н·м}; \quad (15)$$

- при опускании полного груза

$$M_{дин2} = 1,028 \frac{1,15 \times 4,65 \times 675}{3} + 9,55 \frac{31 \times 200 \times 0,103^2}{675 \times 3 \times 0,851} = 1055 \text{ Н·м};$$

- при подъеме пустого захватного приспособления (крюка)

$$M_{дин3} = 1,028 \frac{1,15 \times 4,65 \times 590}{3} + 9,55 \frac{1 \times 20 \times 0,106^2}{590 \times 3 \times 0,33} = 1079 \text{ Н·м};$$

- при спуске пустого захватного приспособления (крюка)

$$M_{г.м.4} = 1,028 \frac{1,15 \times 4,65 \times 595}{3} + 9,55 \frac{1200 \times 0,108^2}{595 \times 3 \times 0,33} = 1107 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

I.8. Определение пусковых моментов:

- при подъеме груза

$$M_{n1} = 602 + 1046 = 1648 \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad (16)$$

- при опускании груза (применяем торможение противовключением)

$$M_{n2} = 446 - 1055 = -609 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

- при подъеме крюка

$$M_{n3} = 61 + 1079 = 1140 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

- при спуске крюка

$$M_{n4} = 1107 - 21,0 = 1086 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Проверка двигателя на наибольший пусковой момент:

$$M_{n1} < 0,8 M_{max} \Rightarrow 1648 < 1856.$$

I.9. Определение времени работы с установившейся скоростью:

- при подъеме полного груза

$$t_1 = \frac{4,7}{0,102} - \frac{3+2}{2} = 43,5 \text{ с}; \quad (30)$$

- при опускании полного груза

$$t_2 = \frac{4,7}{0,103} - \frac{3+2}{2} = 43,1 \text{ с};$$

- при подъеме крюка

$$t_3 = \frac{4,7}{0,106} - \frac{3+2}{2} = 41,8 \text{ с};$$

- при спуске крюка

$$t_4 = \frac{4,7}{0,108} - \frac{3+2}{2} = 41,0 \text{ с}.$$

I.10. Определение фактической относительной продолжительности включения двигателя:

$$ПВ = \frac{3+3+3+3+43,1+43,5+41,8+41,0}{450} = 0,403 \text{ или } 40,3 \%.$$

I.11. Определение пусковых мощностей:

- при подъеме полного груза

$$P_{n1} = \frac{1648 \times 570}{9550} = 98,36 \text{ кВт}; \quad (32)$$

- при опускании полного груза

$$P_{n2} = \frac{-609 \times 675}{9550} = -36,6 \text{ кВт};$$

- при подъеме крюка

$$P_{n3} = \frac{1140 \times 590}{9550} = 70,4 \text{ кВт};$$

- при спуске крюка

$$P_{n4} = \frac{1107 \times 595}{9550} = 70,1 \text{ кВт}.$$

I.12. Построение графика нагрузки двигателя

По значениям  $P_{ni}$  и  $t_{ni}$ ;  $P_i$  и  $t_i$  строим график нагрузки  $P=f(t)$ .

I.13. Определение повторно-кратковременной мощности двигателя:

подкоренное выражение в формуле (33):

$$(98,36^2 \times 3 + 35,93^2 \times 43,5 + 36,6^2 \times 3 + 26,85^2 \times 43,1 + 70,4^2 \times 3 + 3,76^2 \times 41,8 + 70,1^2 \times 3 + 1,33^2 \times 41,52) / (3 + 3 + 3 + 3 + 43,5 + 43,1 + 41,8 + 41,0) = 829,44;$$

$$P_{пк} = \sqrt{829,44} = 28,8 \text{ кВт}. \quad (33)$$

I.14. Приведение повторно-кратковременной мощности к стандартному значению:

$$P_{пк.ст} = 28,8 \sqrt{\frac{40,3}{40}} = 28,9 \text{ кВт}. \quad (34)$$

I.15. Проверка предварительно выбранного двигателя:

$$P'_H < P_{\text{пк.ст}} \leq P_H, \quad (35)$$

где  $P'_H$  - номинальная мощность ближайшего двигателя меньшей мощности при  $ПВ_{СТ} = 40\%$  и  $2p = 10$ ; в каталоге отсутствует;

$P_H$  - номинальная мощность предварительно выбранного двигателя,  $P_H = 36$  кВт.

Окончательно принимаем для эксплуатации двигатель типа МТН611-10 мощностью  $P_H = 36$  кВт при  $\eta_{СТ} = 40\%$ ;  $n_n = 575$  об/мин.

## 2. РАСЧЕТ ВЕЛИЧИНЫ ПУСКОВЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОДЪЕМА ГРУЗА

Расчет пусковых сопротивлений производится на основании данных, получаемых графическим методом.

$$n_0 = 600 \text{ об/мин}; n_n = 575 \text{ об/мин при ПВ} = 40\%; M_H = 602 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_C = 602 \text{ Н}\cdot\text{м}; M_{II} = 2M_H = 1204 \text{ Н}\cdot\text{м}; M_{max} = 2320 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

**Задаемся:**

- пиковым моментом  $M_{II}$ , который не должен превосходить  $0,85 M_{max}$ .

$$M_{\Pi I} = 2M_{\Pi} = 2 \times 602 = 1204 < 2320 \times 0,85;$$

- переключающим моментом  $M_{п2}$ , который должен быть не менее  $(1,05 \dots 1,15)M_c$ .

$$M_{\Pi 2} = 1,15 \times 602 = 692 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Выбираем масштаб и строим механическую характеристику через точки  $\mu_0$  и  $\mu_N$  (рис. 10).

Проводим прямые параллельно оси ординат через точки  $M_{п2} = 692 \text{ н.м}$  и  $M_{п1} = 1204 \text{ Н.м}$ . Затем соединяем прямой точки  $n_0 = 600 \text{ об/мин}$  и  $M_{п1} = 1204 \text{ Н.м}$ . Из точки  $e'$  проводим прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения с линией  $M_{п1}$  — получаем точку  $e$ . Соединяем ее с  $n_0$  и на линии пересечения с  $M_{п2}$  получаем точку  $a'$ , из которой опять проводим прямую, параллельную оси абсцисс. Получаем точку  $d$ ; так же находим точки  $c, b$ , пока не выйдем на естественную механическую характеристику ( $n_0 a$ ). Если точка  $a$  не будет лежать на линии  $M_{п1}$ , то необходимо изме-

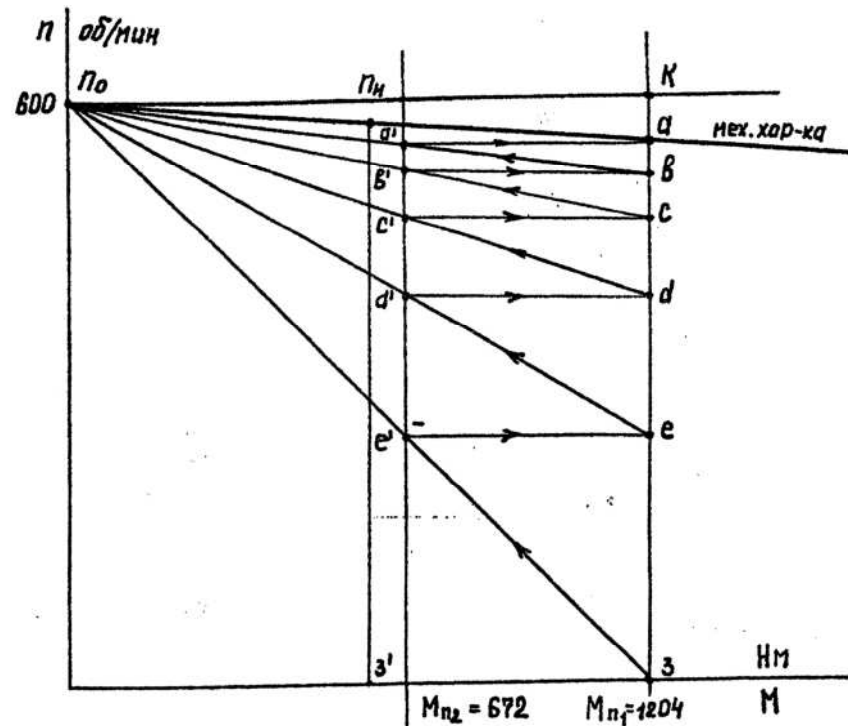


Рис. 10

путь, величину  $M_{П1}$  либо  $M_{П2}$ , чтобы точка  $a$  лежала на линии  $M_{П1}$  и на соответствующей характеристике.

Полом построили, измеряем длины отрезков и определяем величины сопротивлений:

$$ab = 7 \text{ mm}; bc = 9 \text{ mm}; cd = 17 \text{ mm}; de = 27 \text{ mm}; es = 50 \text{ mm};$$

$$ka = 10 \text{ mm}; \tau_p = 0,026 \text{ cm} [7, \text{ c. } 394].$$

$$\gamma_5 = \gamma_p \frac{ab}{ka} = 0,026 \frac{7}{10} = 0,018 \text{ Ом};$$

$$\tau_4 = \tau_p \frac{\beta c}{K a} = 0,026 \frac{9}{10} = 0,023 \text{ Ом};$$

$$z_3' = z_p \frac{cd}{ka} = 0,026 \frac{17}{10} = 0,044 \text{ Ом};$$

$$z_2 = z_p \frac{de}{ka} = 0,026 \frac{27}{10} = 0,07 \text{ Ом};$$

$$z_1 = z_p \frac{e3}{ka} = 0,026 \frac{50}{10} = 0,13 \text{ Ом}.$$

Суммарное сопротивление пускового реостата:

$$R = z_1 + z_2 + z_3 + z_4 + z_5 = 0,13 + 0,07 + 0,044 + \\ + 0,023 + 0,018 = 0,285 \text{ Ом}.$$

Таким образом, пусковой реостат имеет пять ступеней сопротивления.

Расчет механизмов передвижения тележки и моста проводится аналогично.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

1. М е к л е р А. Г. Электрооборудование подъемно-транспортных машин. - М.: Машиностроение, 1965.
2. Б о р и с о в Ю. М., С р к о л о в М. М. Электрооборудование подъемно-транспортных машин. - М.: Машиностроение, 1971.
3. Крановое электрооборудование: Справочник/Под ред. А.А.Рабиновича. - М.: Энергия, 1979.
4. У ш а к о в Н. С. Мостовые электрические краны. - Л.: Машиностроение, 1988.
5. Д а н и л о в В. Г., З в я г и н И. Е. Автоматизированный электропривод подъемно-транспортных машин: Учебник для вузов. - М.: Высшая школа, 1973.
6. Б о г у с л а в с к и й А. П., П е в з н е р Е. М. Электрооборудование кранов. - М.: Машиностроение, 1983.
7. В е ш е н е в с к и й С. Н. Характеристики двигателей в электроприводе. - М.-Л.: Энергия, 1966.

БОЛДЫРЕВ ГЕННАДИЙ ЛЕОНИДОВИЧ  
ЗАБОРЩИКОВА АЛЛА ВИКТОРОВНА  
МЕЛЬНИКОВ ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ

ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ МОСТОВЫХ КРАНОВ  
ПРЕДПРИЯТИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Учебное пособие

Редактор В.А.Цирулев  
Корректор В.П.Игнатьева  
План 1994 г., № 42

Подписано и почать с оригинала-макета 09.02.95.  
Формат 60 x 84 1/16. Бумага для множ. апп. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 3,375. Уч.-изд. л. 3,375+1 вкл. Тираж 300.  
Заказ 171. Цена 2160 р.

Петербургский государственный университет путей сообщения.  
190031, СПб, Московский пр., 9.  
Типография ПГУПС. 190031, СПб, Московский пр., 9.